

# RC設計で要求される耐震性能と施工品質管理

1090454 隅田 啓介

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

実際に建てられている建物は設計された値があり、その通りに建てられていく。しかし、実際は設計通りの建物ができあがっているかどうかはわからない。そこで実測値の誤差を調べることにより、本当に設計通りの建物ができているかを検証した。高知県のある建設会社に協力してもらい、実際に建てられている14階建てマンション（免震）を研究対象とさせてもらった。現場に入らせてもらい、スランプ値・塩化物量・主鉄筋間の距離・かぶり厚・鉄筋の溶接の継ぎ手・コンクリート強度などといったことを調査し、調査結果を解析ソフトに入力し応答をみることで建物の設計値と実測値の誤差を調べた。また、その調査結果を分析した。

**Key Words** : 施工管理、耐震、RC建物、動的応答解析

## 1. 研究背景

まず建物のライフサイクルを考えてみる。計画企画されたものを設計で具体化し、設計されたものを施工で具現化し施工されたものを維持管理することにより性能を保持する。そして建物の寿命がきたらまた新しく計画企画される。このように建物のライフサイクルは繰り返される。こうして建物のライフサイクルはまわっている。このような建物のライフサイクル業務から、建設業におけるこれらの業務は建物の創造と機能保持に集約されると言える。そのため、施工はそれ以前の業務の集大成であり、それ以後にも強く影響する業務である。特に設計における要求性能は、人命尊守の観点からも確実に確保されなければならないものである。

しかし、近年における建物の耐震診断等でそれを満たしていない建物が多数確認されている。

## 2. 研究目的

設計上では建物の要求性能を満たしているが、実際の建物が出来上がってから発注者に要求性能を満たしていること（満たしていないこと）を証明するのは難しい。なので建てられていく過程でいくつかの項目を調べることで実測値をとり、設計値と実測値の誤差を調べることにより、本当に設計通りの建物ができているかを検証した。高知県のある建設会社に協力してもらい、実際に建てられている14階建てマンション（免震）を研究対象とさせてもらった。現場に入らせてもらい、スランプ値・塩化物量・主鉄筋間の距離・かぶり厚・鉄筋の溶接の継ぎ手・コンクリート強度などといったことを調査し、調査結果を解析ソフトに入力し応答をみることで建

物の設計値と実測値の誤差を調べ、その調査結果の原因を施工の観点から分析する。

## 3. 建物概要

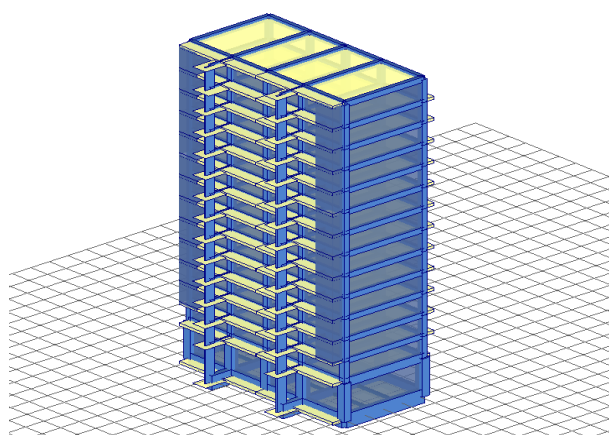


図1 建物の概要図

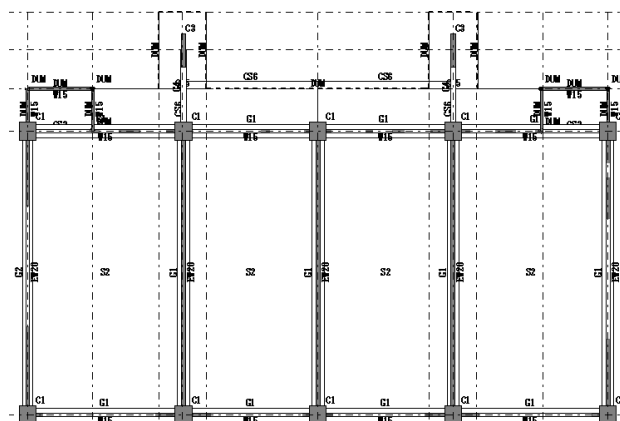
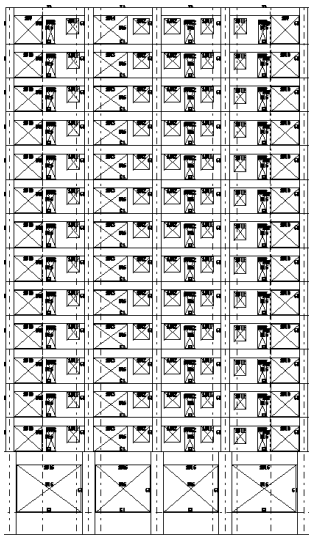


図2 平面図



- ・地上 14 階建 (免震構造)
- ・鉄筋コンクリート構造
- ・用途：1F 店舗  
2F 住居
- ・高さ：44.745m
- ・Y方向(1スパン) 梁間方向：12m
- ・X方向(4スパン) 桁行方向：27.8m
- ・階段 建物北側に配置

図3 立面図

今回の対象建物は地上14階建の居住マンションである。梁間方向に1スパン、桁行方向に4スパンの建物で、階段は建物北側の建物の外に設けられている。免震層は以下の写真のような丸型プレートを使用している。なお、この免震層と上部のコンクリートの間に鉄板プレートを敷くことにより荷重が均一にかかるようにしているとのことである。

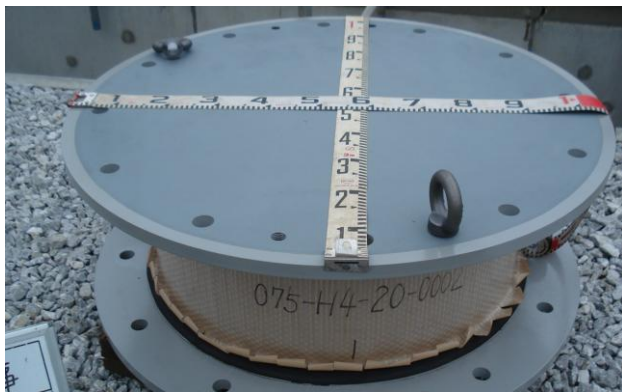


写真1 免震装置

## 4. 測定結果

### 4-1 コンクリートの測定結果

今回構造図より設計値と施工値を入手し、実測値は現場でコンクリート試験に立ち合わせてもらい調査した。調査したのはスランプ値・コンクリート強度・空気量・水セメント比・塩化物量などといった項目を調査した。また、正式なコンクリートの配合・圧縮試験結果の報告書も参考にさせてもらいその実測値の平均を以下の表1に記す。

また、コンクリート強度が極端に低いものができてしまった時を想定して一律 $F_c=24$ として建物を設計・解析する事とした。その一覧を表2に示す。

表1 コンクリートの概要

	スランプ値 (cm)	コンクリート強度 ( $N/mm^2$ )	空気量 (%)	水セメント比 (%)
設計値	18	39	4.5( $\pm 1.5$ )	55以下
施工値		42		
実測値	19	45	4.4	39.6

表2 コンクリート圧縮強度

	設計値	施工値	実測値	$F_c=24$
1FL-3FL	39	42	45	24
4FL-6FL	36	39	42	24
7FL-9FL	33	36	39	24
10FL-12FL	30	33	36	24
13FL-RF	27	30	33	24



写真2 コンクリート試験の様子

また、写真2はコンクリート試験の様子を撮影したものである。表1には塩化物量のことには触れていないが写真中央できっちり測定している。実際に値を見てみたがどの試験体も基準値を満たしていたので表には載せていない。

### 4-2 鉄筋の測定結果

鉄筋の測定内容は主鉄筋間の距離・かぶり厚さ・鉄筋の継ぎ手を調査した。しかし、この項目は現場の都合によりあまり詳細な調査が出来ていないこと、後に行う建物の解析に影響を及ぼさないことから測定を断念した。しかし、確認できる所は全て確認したが、いずれも基準を満たしていた。

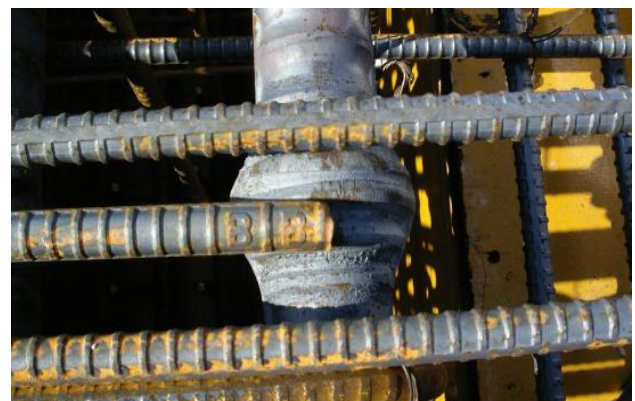


写真3 正常な鉄筋の継ぎ手

写真3はガス圧接された鉄筋の継ぎ手であるが大きな誤差もなく基準を満たしていた。これは一例であるが他の箇所も基準を満たしていた。

以上の調査結果をもとに解析ソフトを用いて施工誤差を求めるための資料とした。

## 5. 解析方法

建物の構造設計は(株)構造計画研究所の構造計算ソフトRESP-Bird21(許容応力度設計法)にて対象建物とほぼ同仕様の建物を作成した。RESP-F3(静的弾塑性解析)、RESP-QDM(復元力特性モデル化プログラム)、RESP-M/II(動的応答解析)を使用し、設計及び解析を行った。

RESP-M/IIに使用した入力地震動は、EL CENTRO 1940 NS、TAFT 1952 EW、HACHINOHE 1968 NSの3波をそれぞれ最大加速度50カインに基準化した波(L2レベル)で地震応答解析を行った。以下にソフトの概要を示す。

- RESP-Bird21

建物の規模(スパン数や階数)・形状・用途・使用材料・断面などを設定し構造物を設計する。これらの条件を規定内に収め許容応力度設計法を行う。

- RESP-F3

外力として地震力を想定し各階に水平力を設定し部分端レベルの非線形復元力特性に立脚した弾塑性解析を行う。

- RESP-QDM

RESP-F3のデータをRESP-M/IIに取り込めるように変換する。

- RESP-M/II

RESP-F3の結果をもとに質点系に置き換え、復元力特性を求め減衰・入力地震動・塑性特性などを入力し動的な振動解析を行う。

## 6. 解析結果

### 6-1 解析建物概要

今回、設計図通り開口部などを設計してしまうと鉛直荷重がばらついてしまい本研究で使用している解析ソフトでは免震装置が配置できないので1番構造的に見て弱いと思われるフレーム(梁と柱と床)構造の建物を設計した。また解析ソフトの都合上、1階を免震層とした。なので14階建ての建物であるが免震層を含めるので解析上は15階建ての建物となっている。

### 6-2 解析結果

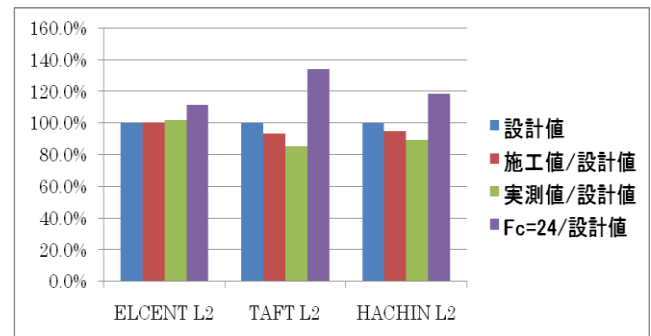


図4 L2レベルでの層間応答絶対変位の比率

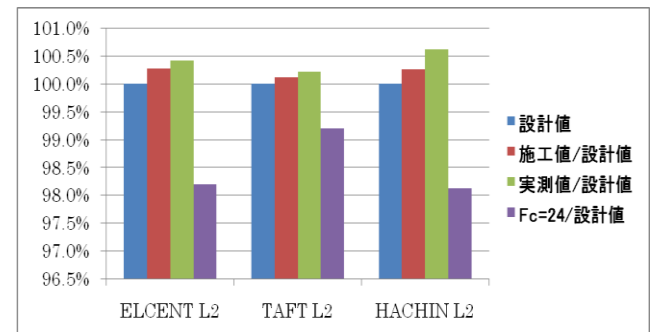


図5 L2レベルでの1階柱の最大せん断力の比率

表3 1階から14階の最大層間絶対変位

	FL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
設計値	EL L2	0.16	0.23	0.36	0.35	0.30	0.27	0.27	0.24	0.21	0.15	0.10	0.08	0.06	0.06
	TA L2	0.13	0.15	0.25	0.22	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.06	0.05	0.03	0.02
	HA L2	0.14	0.21	0.34	0.32	0.29	0.25	0.20	0.20	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.04
施工値	EL L2	0.15	0.23	0.36	0.36	0.31	0.28	0.28	0.26	0.24	0.21	0.15	0.10	0.08	0.06
	TA L2	0.12	0.14	0.24	0.20	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.03	0.02
	HA L2	0.14	0.20	0.34	0.32	0.29	0.25	0.20	0.19	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04
実測値	EL L2	0.15	0.22	0.36	0.36	0.32	0.29	0.29	0.26	0.23	0.20	0.15	0.11	0.08	0.06
	TA L2	0.12	0.14	0.22	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02
	HA L2	0.13	0.19	0.33	0.32	0.29	0.24	0.19	0.17	0.13	0.11	0.09	0.08	0.06	0.04
fc24	EL L2	0.22	0.28	0.40	0.34	0.30	0.29	0.27	0.25	0.21	0.17	0.11	0.07	0.06	0.04
	TA L2	0.15	0.21	0.34	0.31	0.27	0.23	0.18	0.14	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03
	HA L2	0.17	0.25	0.39	0.36	0.32	0.28	0.25	0.30	0.22	0.15	0.11	0.09	0.06	0.05

表4 1階から14階までの最大せん断力

	FL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
設計値	EL L2	615.1	561.1	530.1	504.9	479.6	451.1	416.4	377.0	330.6	284.8	247.6	211.3	162.6	94.7
	TA L2	517.7	461.7	422.3	389.7	361.9	370.1	351.7	326.2	296.4	264.7	232.2	195.7	146.7	83.2
	HA L2	566.1	521.6	490.4	457.5	423.2	386.6	347.6	307.4	266.3	224.2	181.6	145.3	106.9	59.0
施工値	EL L2	616.7	566.7	536.1	514.0	486.2	457.4	421.7	379.3	329.9	286.5	251.9	217.3	165.3	96.4
	TA L2	518.3	459.9	418.6	393.7	366.0	373.6	354.6	329.1	300.2	269.7	236.9	203.3	153.0	86.6
	HA L2	569.5	525.6	495.1	462.1	426.6	389.0	349.4	308.6	266.6	226.2	183.2	144.3	105.9	58.5
実測値	EL L2	617.6	571.7	545.7	521.3	494.2	463.1	424.9	378.2	326.9	289.2	254.0	220.3	167.2	96.0
	TA L2	518.7	460.0	414.8	396.8	368.5	375.6	356.8	331.2	302.8	273.0	245.1	210.5	158.1	89.1
	HA L2	571.5	526.9	496.3	465.0	428.9	391.2	350.6	308.7	267.8	225.2	182.5	145.2	106.0	58.0
Fc=24	EL L2	603.9	536.2	495.0	459.0	432.0	407.1	379.9	351.0	316.6	277.9	234.8	196.1	149.7	86.0
	TA L2	513.5	469.7	437.9	403.3	366.4	352.4	335.9	313.4	283.8	250.1	217.8	180.5	131.0	71.2
	HA L2	557.4	506.6	473.6	436.6	399.9	363.2	327.6	294.6	259.5	223.3	185.6	147.6	104.6	57.9

上部構造はほとんど変位していなかった。このグラフを見て分かるのは、設計値・施工値・実測値・コンクリート強度を変化させた建物を設計したが、どれもほとんど誤差は生まれていないということがわかる。ただ、コンクリート強度が上がれば変位は下がっていく傾向であったが、コンクリート強度を下げれば変位が大きくなる傾向だった。

また、せん断力の応答結果をみってみる。やはり応答は微小なものであるが、こちらは変位とは逆で、コンクリート強度が上がればせん断力は大きくなる傾向であり、コンクリート強度が下がればせん断力も下がる傾向だということがわかりました。しかし、表をみれば分かる通りその誤差はほぼないくらい微小なものであり、最大でも2%ほどしか誤差は生まれていなかった。

## 7. まとめ

免震構造建物の施工状態を実際に調査させていただいたが、特にコンクリート強度変動が設計と実施で生じていた。しかし、上部構造の地震応答にはほとんど影響がなかった。

このように、設計値よりも耐震性能が損なわれなかったのは以下の点があげられると考える。

- ・職人の方々の力
- ・施工管理者として働く方々の力
- ・ERIという検査機関の協力（写真4）



写真4 ERIの検査の様子

特に3つ目の項目でERI検査機関の方たちが定期的な検査を行っていることがこの誤差のない結果となっていると考えた。この人たちの許可がおりなければ現場はストップしてしまう。それどころか管理を怠ってしまうと後に大災害が起こってしまう。なので、ERI検査というのは非常に細かな所まで検査をしていた。

いっしょに現場をまわらせていただいたが、基準を満たしていない箇所を見つけ出した時はすぐに修正を行っていた。以上の事より私は、見えない箇所（配筋・コンクリート強度・鉄筋の継ぎ手など）での施工ミスが起こっている確率は低くはないと考えた。よってどの建物も、一概に設計値通りの建物であるとは言えないのではないかと推測した。

また、私たちが調査させて頂いていたのでより丁寧な施工が行われていたとも推測した。

## 8. 改善点

本研究では、フレームのみで解析を行ったが、そのフレームの断面寸法の誤差を調べ解析すればもっと違ったものができたのではないかと考える。また、実際に現場で調べたが全て調べることができたわけではない。特にスランプ値の誤差があるようだったので次はコンクリートの配合から考えていきたい。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説
- 2) 日本建築学会 鉄筋コンクリート構造 計算用資料集
- 3) 日本建築学会 鉄筋コンクリート構造の設計 2002
- 4) 建築技術 制震、免震構造の設計
- 5) 株式会社構造計画研究所  
RESP BIRD-21 ユーザーマニュアル 第6版  
RESP F3 ユーザーマニュアル  
RESP QDM ユーザーマニュアル第1.7版  
RESP M/II ユーザーマニュアル
- 6) オイレス工業 免震カタログ